



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Off nlegungsschrift  
10 DE 198 28 606 A 1

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 P 9/04  
G 01 B 7/16  
H 01 L 49/00

21 Aktenzeichen: 198 28 606.6  
22 Anmeldetag: 26. 6. 98  
43 Offenlegungstag: 7. 1. 99

DE 198 28 606 A 1

30 Unionspriorität:  
9-174869 30. 06. 97 JP  
71 Anmelder:  
Denso Corp., Kariya, Aichi, JP  
74 Vertreter:  
K. Winter und Kollegen, 85354 Freising

72 Erfinder:  
Kano, Kazuhiko, Kariya, Aichi, JP; Fujita, Makiko,  
Kariya, Aichi, JP; Ohtsuka, Yoshinori, Kariya, Aichi,  
JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

- 54 Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor  
57 Ein Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor besitzt ein Substrat, eine Auslegerstruktur, welche aus einem Halbleitermaterial gebildet ist und wenigstens ein auf dem Substrat angeordnetes Ankerteil, ein über dem Substrat in einem vorbestimmten Abstand davon lokalisiertes Gewichtsteil und ein Auslegerteil aufweist, welches sich von dem Ankerteil aus erstreckt und das Gewichtsteil trägt. Eine bewegliche Elektrode ist auf dem Gewichtsteil gebildet, und eine festgelegte Elektrode ist auf dem Substrat derart gebildet, daß die festgelegte Elektrode der beweglichen Elektrode gegenüberliegt. Wenn eine Ansteuerungsspannung an die bewegliche Elektrode und die festgelegte Elektrode angelegt wird, wird die Trägerstruktur zu einem erzwungenen Schwingen in eine Richtung horizontal bezüglich einer Substratoberflächenebene veranlaßt. Bei diesem Giergeschwindigkeitssensor ist ein Dehnungsmeßgerät zur Überwachung der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur in dem Auslegerteil gebildet. Als Ergebnis kann die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur mit einer einfachen Struktur überwacht werden.

DE 198 28 606 A 1

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf einen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor, der eine aus einem Halbleitermaterial gebildete Balken- bzw. Auslegerstruktur aufweist.

Ein herkömmlicher Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor ist in der JP-A-H.8-148698 offenbart. In diesem Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor ist eine Auslegerstruktur aus einem Halbleitermaterial gebildet und in einer vorbestimmten Entfernung oberhalb einer Oberseite eines Substrats lokalisiert. Die Auslegerstruktur wird zum erzwungenen Schwingen bzw. Vibrieren in einer Horizontalrichtung relativ zu der Substratoberflächenebene veranlaßt. Eine Giergeschwindigkeit wird auf der Grundlage einer Vertikalverschiebung der Auslegerstruktur relativ zu der Substratoberflächenebene erfaßt.

Um bei diesem Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor einen Schwingungs- bzw. Vibrationszustand der Auslegerstruktur in Horizontalrichtung zu erfassen, ist eine bewegliche Gateelektrode in der Auslegerstruktur vorgesehen, und es sind Source- und Drainelektroden in dem Substrat gebildet. Infolge dieser Anordnung wird der Schwingungszustand der Trägerstruktur in Horizontalrichtung, d. h. die erzwungene Schwingung der Trägerstruktur, als Drainstrom erfaßt, welcher zwischen den Source- und Drainelektroden fließt. Die Auslegerstruktur wird zu einem Schwingen mit einer konstanten Resonanzfrequenz auf der Grundlage des erfaßten Drainstroms veranlaßt.

Bei dem oben beschriebenen herkömmlichen Giergeschwindigkeitssensor ist es jedoch nötig, nicht nur die bewegliche Gateelektrode in der Auslegerstruktur vorzusehen, sondern ebenfalls die Source- und Drainelektroden in dem Substrat zu bilden. Daher wird die Struktur des Giergeschwindigkeitssensors kompliziert.

Die vorliegende Erfindung wurde im Hinblick auf die obige Schwierigkeit gemacht, und Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor bereitzustellen, bei welchem eine erzwungene Schwingung einer Auslegerstruktur mit einer einfachen Struktur überwacht werden kann.

Die Lösung der Angebote erfolgt durch die im Anspruch 1 bezeichneten Merkmale. Demgemäß besitzt der Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor der vorliegenden Erfindung ein Substrat, eine Ausleger- bzw. Balkenstruktur, welche aus einem Halbleitermaterial gebildet ist und wenigstens ein auf dem Substrat angeordnetes Ankerteil aufweist, ein Gewichtsteil, welches über dem Substrat mit einem vorbestimmten Abstand davon lokalisiert ist, und ein Auslegerteil, welches sich von dem Ankerteil erstreckt und das Gewichtsteil trägt. Eine bewegliche Elektrode ist auf dem Gewichtsteil gebildet, und eine festgelegte Elektrode ist auf dem Substrat derart gebildet, daß die festgelegte Elektrode gegenüber der beweglichen Elektrode liegt. Wenn eine Ansteuerungsspannung an die bewegliche Elektrode und die festgelegte Elektrode angelegt wird, wird die Auslegerstruktur zum erzwungenen Schwingen bzw. Vibrieren in Horizontalrichtung relativ zu einer Substratoberflächenebene veranlaßt. Bei diesem Giergeschwindigkeitssensor ist ein Dehnungsmeßgerät in dem Auslegerteil gebildet, um die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur zu überwachen. Als Ergebnis kann die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur mit einer einfachen Struktur überwacht werden.

In diesem Fall wird es bevorzugt, eine Schaltung vorzusehen, welche eine Ansteuerungsspannung erzeugt, die an die bewegliche Elektrode und die festgelegte Elektrode anzulegen ist, so daß während der Schwingung der Auslegerstruktur

eine Resonanzfrequenz auf einem konstanten Wert gehalten wird. Die Ansteuerungsspannung kann an dem Ausgang des Dehnungsmeßgeräts erzeugt werden.

Eine Diffusionsschicht kann in dem Auslegerteil gebildet sein. Die Diffusionsschicht kann als Draht verwendet werden, welcher zu dem Dehnungsmeßgerät führt bzw. leitet. Alternativ kann ein Metalldraht auf dem Auslegerteil bereitgestellt werden, um als Draht verwendet zu werden, der zu dem Dehnungsmeßgerät führt bzw. leitet. Infolge dieses Drahts kann das Dehnungsmeßgerät mit einer Elektrode elektrisch verbunden werden, welche beispielsweise an dem Ankerteil gebildet ist.

Der Draht kann in dem Auslegerteil in einer U-förmigen Gestalt gebildet werden, und beide Enden des Drahtes sind mit einem Paar von Elektroden verbunden, die in dem Ankerteil gebildet sind. Wenn alternativ wenigstens zwei der Ankerteile auf dem Substrat angeordnet sind, kann der Draht derart vorgesehen sein, daß ein Ende des Drahts mit einer in einem der Ankerteile gebildeten ersten Elektrode verbunden ist und das andere Ende des Drahtes mit einer in dem anderen der Ankerteile gebildeten zweiten Elektrode verbunden ist. D.h. der Draht bewegt sich durch das Auslegerteil, welches sich von einem der Ankerteile erstreckt, durch das Gewichtsteil und durch das Auslegerteil, welches sich von dem anderen der Ankerteile erstreckt. Sogar wenn in diesem Fall die Breite des Strahlteils klein ist, kann die Verdrahtung leicht gebildet werden.

Vorzugsweise sind zwei Dehnungsmeßgeräte an unterschiedlichen Positionen gebildet, so daß, während die Auslegerstruktur zum Schwingen in Horizontalrichtung veranlaßt wird, dann, wenn eine Zugspannung auf eines der Dehnungsmeßgeräte aufgebracht wird, auf das andere Dehnungsmeßgerät eine Druckspannung aufgebracht wird. In diesem Fall verhalten sich die Widerstandswerte der zwei Dehnungsmeßgeräte umgekehrt relativ zu einander. Wenn daher eine Halbbrückenschaltung oder eine Vollbrückenschaltung unter Verwendung der zwei Dehnungsmeßgeräte konstruiert wird, ist es möglich, die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur genau zu überwachen.

Des weiteren ist das Dehnungsmeßgerät vorzugsweise von einer neutralen Achse des Auslegerteils während der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur versetzt gebildet. Wenn das Dehnungsmeßgerät entlang der neutralen Achse lokalisiert ist, wird darauf eine sehr kleine Zug- oder Druckspannung aufgebracht. Daher kann mit dem von der neutralen Achse versetzten Dehnungsmeßgerät die erzwungene Schwingung der Strahlstruktur genau erfaßt werden.

Die vorliegende Erfindung wird in der nachfolgenden Beschreibung unter Bezugnahme auf die Zeichnung erläutert. Fig. 1 zeigt eine Draufsicht auf einen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor einer ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

Fig. 2 zeigt eine perspektivische Ansicht, welche eine in Fig. 1 dargestellte Auslegerstruktur 2 und festgelegte Elektroden 10, 11 darstellt;

Fig. 3 zeigt ein Blockdiagramm, welches eine Schaltung zur Aktivierung der Auslegerstruktur und Erzeugung eines Ausgangssignals entsprechend einer Giergeschwindigkeit darstellt;

Fig. 4 bis 13 zeigen Querschnittsansichten, welche stufenweise das Herstellungsverfahren des Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensors veranschaulichen;

Fig. 14 zeigt eine perspektivische Ansicht, welche eine Auslegerstruktur und festgelegte Elektroden einer Modifizierung der ersten Ausführungsform darstellt;

Fig. 15 zeigt eine Draufsicht auf einen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor einer Modifizierung der ersten Ausführungsform;

Fig. 16 zeigt eine partiell vergrößerte Ansicht des in Fig. 15 dargestellten Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensors;

Fig. 17 zeigt eine partiell vergrößerte Ansicht, welche eine Modifizierung des in Fig. 15 dargestellten Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensors darstellt;

Fig. 18 zeigt eine Ansicht, welche eine Bildungsposition für ein Dehnungsmeßgerät darstellt; und

Fig. 19 zeigt eine Ansicht, welche ein Dehnungsmeßgerät 15 und einen Aluminiumdraht 16 einer Modifizierung der ersten Ausführungsform darstellt.

#### Erste Ausführungsform

Wie in Fig. 1 dargestellt besitzt ein Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor Ausleger- bzw. Balkenstrukturen (bewegliche Strukturen) 2, 3 auf einer oberen Seite eines Halbleitersubstrats 1. Die Auslegerstrukturen 2, 3 werden zum Schwingen bzw. Vibrieren in entgegengesetzter Phase veranlaßt, und es wird ein Ausgangssignal von jeder der Auslegerstrukturen 2, 3 erzeugt. Eine Giergeschwindigkeit wird infolge einer Differenzfassung der Ausgangssignale von den Auslegerstrukturen 2, 3 erfaßt.

Die Auslegerstruktur 2 enthält vier Ankerteile 4a, 4b, 4c und 4d, welche auf dem Substrat 1 mit vorbestimmten Abständen dazwischen angeordnet sind. Ein Ausleger- bzw. Balkenteil 5 ist zwischen den Ankerteilen 4a, 4c installiert, und es ist ein Auslegerteil 6 zwischen den Ankerteilen 4b, 4d installiert. Ein Gewichtsteil (Massenteil) 7a ist zwischen den Auslegerteilen 5, 6 vorgesehen. Daher sind die Auslegerteile 5, 6 über das Gewichtsteil 7 verbunden.

In dem Gewichtsteil 7 ist eine Mehrzahl von Löchern 7a, welche das Gewichtsteil 7 vertikal durchdringen, gebildet. Ebenfalls springt eine Mehrzahl beweglicher Elektroden 8 für eine Schwingung bzw. Vibration von einer Seite des Gewichtsteils 7 hervor, und es springt eine Mehrzahl beweglicher Elektroden 9 für eine Schwingung von der anderen Seite davon hervor. Jeder der beweglichen Elektroden 8, 9 besitzt die Form eines rechteckigen Pfahls bzw. Stange. Die beweglichen Elektroden 8 und die beweglichen Elektroden 9 sind mit gleichen Abständen angeordnet und erstrecken sich jeweils parallel zueinander.

Die Auslegerstruktur 3 besitzt dieselbe Struktur wie die Auslegerstruktur 2.

Auf der oberen Seite des Substrats 1 sind festgelegte Elektroden 10, 11, 12 für eine Schwingung bzw. Vibration vorgesehen. Jede der festgelegten Elektroden 10, 11, 12 wird von einem auf dem Substrat 1 angeordneten Ankerteil getragen. Die festgelegten Elektroden 10, 12 besitzen vorspringende Elektrodenanteile, die jeweils auf einer Seite davon gebildet sind. Die festgelegte Elektrode 11 besitzt vorspringende Elektrodenanteile, die auf jeder Seite davon gebildet sind. Die Auslegerstrukturen 2, 3 und die festgelegten Elektroden 10, 11, 12 sind auf dem Substrat 1 derart positioniert, daß die beweglichen Elektroden 8, 9 und die vorspringenden Elektrodenanteile der festgelegten Elektrode 10, 11, 12 mit dazwischen befindlichen Lücken überlappt sind.

Darüber hinaus sind auf der Oberseite des Substrats 1 untere Elektroden 13, 14 in Bereichen gebildet, welche den Gewichtsteilen 7 der Auslegerstrukturen 2, 3 gegenüberliegen bzw. diese überdecken.

Wenn bei dem Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor mit der oben beschriebenen Struktur eine erste Ansteuerungsspannung an die beweglichen Elektroden 8 der Auslegerstruktur 2 und die festgelegte Elektrode 10 angelegt wird und eine zweite Ansteuerungsspannung mit einer entgegengesetzten Phase zu derjenigen der ersten Ansteuerungsspannung an die beweglichen Elektrode 9 und die festgelegte Elektrode 11 angelegt wird, wird die Auslegerstruktur 2 (das

Gewichtsteil 7 und die Auslegerteile 5, 6) zum erzwungenen Schwingen bzw. Vibrieren in einer Horizontalrichtung (Parallelrichtung) relativ zu einer Oberfläche des Substrats 1 infolge einer elektrostatischen Kraft veranlaßt, welche zwischen den beweglichen Elektroden 8, 9 bzw. der festgelegten Elektrode 10, 11 wirkt. Wenn auf dieselbe Weise die zweite Ansteuerungsspannung an die beweglichen Elektroden 8 der Auslegerstruktur 3 und die festgelegte Elektrode 11 angelegt wird und die erste Ansteuerungsspannung mit einer entgegengesetzten Phase gegenüber derjenigen der zweiten Ansteuerungsspannung an die beweglichen Elektroden 9 der Auslegerstruktur 3 und die festgelegte Elektrode 12 angelegt wird, wird die Strahlstruktur 3 (das Gewichtsteil 7 und die Auslegerteile 5, 6) zur erzwungenen Schwingung in einer Horizontalrichtung relativ zu der Oberfläche des Substrats 1 infolge einer elektrostatischen Kraft veranlaßt, welche zwischen den beweglichen Elektroden 8, 9 bzw. der festgelegten Elektrode 11, 12 wirkt.

Wenn zu dieser Zeit ein Gieren der Größe  $\Omega$  um eine Achse wirkt, welche entlang der Oberfläche dem Substrats 1 wie in Fig. 1 dargestellt verläuft, wird eine Corioliskraft in einer Richtung senkrecht zu der Oberfläche des Substrats 1 erzeugt und hauptsächlich auf die Gewichtsteile 7 der Auslegerstrukturen 2, 3 aufgebracht. Hier hängt die Corioliskraft  $F_c$  von einem Gewicht  $M$  des Gewichtsteils 7, einer Schwingungsrate bzw. Schwingungsgeschwindigkeit  $V$  und der Gierung  $\Omega$  ab und wird durch die folgende Gleichung 1 ausgedrückt.

$$F_c = 2MV\Omega \quad (1).$$

Wenn während der erzwungenen Schwingung der Auslegerstrukturen 2, 3 die Gewichtsteile 7 der Auslegerstrukturen 2, 3 in die Vertikalrichtung auf die Oberfläche des Substrats 1 zu verschoben werden, ändern sich die Kapazitätswerte der zwischen den Auslegerstrukturen 2, 3 und den unteren Elektroden 13, 14 gebildeten Kondensatoren entsprechend der jeweiligen Verschiebung der Gewichtsteile 7 der Auslegerstrukturen 2, 3. D.h. eine Giergeschwindigkeit wird erfaßt, wenn sich ein Kapazitätswert der Kondensatoren hervorgerufen durch die jeweilige Verschiebung der Gewichtsteile 7 ändert.

Da ebenfalls die Schwingung der Auslegerstruktur 2 gegenüber der Schwingung der Auslegerstruktur 3 bezüglich der Phase um  $180^\circ$  verschoben ist, werden das Gewichtsteil 7 der Auslegerstruktur 2 und das Gewichtsteil 7 der Auslegerstruktur 3 relativ zueinander umgekehrt verschoben. Daher kann durch eine Differenzfassung der Ausgangssignale von den Auslegerstrukturen 2, 3 die Giergeschwindigkeit genau erfaßt werden.

Fig. 2 zeigt eine perspektivische Ansicht eines Teils der linken Hälfte des Giergeschwindigkeitssensors, d. h. der Auslegerstruktur 2. Obwohl in Fig. 1 nicht dargestellt sind die Dehnungsmeßgeräte 15, 19 durch Diffusionsschichten in den Auslegerteilen 5, 6 wie in Fig. 2 dargestellt gebildet, um die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur 2 zu überwachen.

Das Dehnungsmeßgerät 15 ist mit einem Paar von Elektroden 17, 18 verbunden, die in dem Ankerteil 4c über einer durch eine Diffusionsschicht gebildeten Verdrahtungsschicht 16 gebildet sind. Das Dehnungsmeßgerät 19 ist mit einem Paar von Elektroden 21, 22 verbunden, die in dem Ankerteil 4d über einer durch eine Diffusionsschicht gebildeten Verdrahtungsschicht 20 gebildet sind.

Da wie in Fig. 2 dargestellt das Dehnungsmeßgerät 15 auf einer linken Seite einer Mittellinie (neutrale Achse) des Auslegerteils 5 gebildet ist und das Dehnungsmeßgerät 19 auf einer rechten Seite einer Mittellinie des Auslegerteils 6

gebildet ist, wird während die Strahlstruktur 2 zum Schwingen in Horizontalrichtung veranlaßt wird, dann, wenn eines der Dehnungsmeßgeräte 15, 16 mit einer Zugspannung beaufschlagt wird, das andere mit einer Druckspannung beaufschlagt. Daher ändern sich die Widerstandswerte der zwei Dehnungsmeßgeräte 15, 19 umgekehrt relativ zueinander.

Fig. 3 zeigt eine Schaltung, welche die Auslegerstruktur 2 zum Schwingen und zum Erzeugen eines Ausgangssignals der Auslegerstruktur 2 veranlaßt.

Die Dehnungsmeßgeräte 15, 19 sind in Serie angeschlossen, um eine Halbbrückenschaltung zu bilden. Als Ergebnis werden die jeweiligen Widerstandswertänderungen der Dehnungsmeßgeräte 15, 19 als Spannungsänderung an der Halbbrückenschaltung gebildet. Das an der Halbbrückenschaltung erzeugte Spannungssignal wird in ein Überwachungssignal nach dem Hindurchtreten durch einen Bandpaßfilter (BPF) 40 und einen Verstärker 41 umgewandelt. Dabei ist während der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur 2 das Überwachungssignal gegenüber der Ansteuerungsspannung bezüglich der Phase um  $90^\circ$  verschoben, so daß die Auslegerstruktur 2 erzwungenermaßen schwingt. Daher wird die Phase des Überwachungssignals durch einen Phasenwandler 42 um  $90^\circ$  verschoben, und danach wird das Überwachungssignal an die festgelegte Elektrode 10 als Ansteuerungsspannung angelegt. Ebenfalls wird ein Signal, dessen Phase durch einen Inverter 43 gegenüber der Phase des an die festgelegte Elektrode 10 angelegten Überwachungssignals invertiert ist, an die festgelegte Elektrode 11 angelegt. Es wird festgestellt, daß das Potential der beweglichen Elektroden 8, 9, welche für das Gewichtsteil 7 vorgesehen sind, auf ein Bezugspotential (beispielsweise auf ein Massepotential) festgelegt wird.

Auf diese Weise wird ein freischwingender Oszillator durch eine geschlossene Schleife gebildet, wobei die Ansteuerungsspannung für die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur 2 auf der Grundlage der Ausgangsspannung der aus den Dehnungsmeßgeräten 15, 19 konstruierten Halbbrückenschaltung erzeugt wird, und die Dehnungsmeßgeräte 15, 19 überwachen die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur 2, wenn die Ansteuerungsspannungen an die beweglichen Elektroden 8, 9 bzw. die festgelegten Elektroden 10, 11 angelegt werden. Die Auslegerstruktur 2 wird zur erzwungenen Schwingung mit einer Resonanzfrequenz durch den freischwingenden Oszillator veranlaßt.

Nachdem das Überwachungssignal durch den Phasenschieber 42 hindurchgetreten ist, wird es mit einem Signal multipliziert, welches von einem automatischen Verstärkungskontrollier (AGC; automatic gain controller) A erzeugt wird, der durch einen Gleichrichter 44, einen Tiefpaßfilter 45 und einen Multiplizierer 46 gebildet wird. Als Ergebnis ist es möglich, eine Amplitude des Überwachungssignals konstant zu halten und dadurch die Amplitude der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur 2 konstant zu halten.

Der Kapazitätswert des zwischen der Auslegerstruktur 2 und der unteren Elektrode 13 gebildeten Kondensators wird durch einen C-V-Wandler 47 in ein Spannungssignal umgewandelt. Das umgewandelte Spannungssignal wird unter Verwendung des von dem Verstärker 41 erzeugten Überwachungssignals von einem synchronen Demodulator 48 synchron demoduliert. Durch diese Signalverarbeitung wird ein Giergeschwindigkeitssignal von dem synchronen Demodulator 48 erzeugt.

Die Dehnungsmeßgeräte sind ebenfalls auf den jeweiligen Auslegerteilen 5, 6 der Auslegerstruktur 3 gebildet. Auf dieselbe Weise wie oben beschrieben wird die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur 3 durch die Dehnungsmeßgeräte überwacht. Ebenfalls wird auf der Grundlage des

von den Dehnungsmeßgeräten erzeugten Spannungssignals die Auslegerstruktur 3 zur erzwungenen Schwingung veranlaßt. Es wird ebenfalls ein Giergeschwindigkeitssignal von der Auslegerstruktur 3 erfaßt.

Als nächstes wird ein Herstellungsverfahren des Gierratensensors unter Bezugnahme auf Fig. 4 bis 13 beschrieben, welche Querschnittsansichten entlang Linie A-A von Fig. 2 zeigen.

Zuerst wird wie in Fig. 4 dargestellt ein einkristallines N-Typ Siliziumsubstrat (erstes Halbleitersubstrat) 100 bereitgestellt. Ein Graben 100a zur Ausrichtung wird in dem Siliziumsubstrat 100 durch Grabenätzen gebildet. Danach wird eine Siliziumoxidschicht 101, welche als dünne Opferschicht dient, durch ein Verfahren wie chemische Aufdampfung (CVD) gebildet.

Als nächstes wird wie in Fig. 5 dargestellt eine Austiefung 102 durch partielles Ätzen der Siliziumoxidschicht 101 gebildet. Die Austiefung 102 dient der Bildung eines Vorsprungs, um einen Kontaktbereich der Auflegerstruktur 2 und des Substrats 1 zu verringern, wenn die Auslegerstruktur 2 an dem Substrat 1 infolge einer Oberflächenspannung davon in einem später beschriebenen Ätzschritt der Opferschicht anhaftet. Des weiteren wird eine Siliziumnitridschicht (erste Isolierungsdünnschicht) 103, welche ein Ätzstopper in dem Ätzschritt der Opferschicht wird, auf der Siliziumoxidschicht 101 gebildet.

Öffnungen 104 werden in einem aufgeschichteten Körper der Siliziumnitridschicht 103 und der Siliziumoxidschicht 101 an Gebieten gebildet, wo die Ankerteile beispielsweise durch Fotolithografie- und Trockenätzschritte zu bilden sind. Es wird festgestellt, daß die Öffnungen entsprechend aller Ankerteile der Auslegerstrukturen 2, 3 und der festgelegten Elektroden 10, 11, 12 gebildet werden.

Darauf folgend wird wie in Fig. 6 dargestellt eine polykristalline Siliziumdünnschicht 105 als Material gebildet, welches die Ankerteile in den Öffnungen 104 und auf der Siliziumnitridschicht 103 mit einer Schichtdicke von  $0,5\ \mu\text{m}$  bis  $2\ \mu\text{m}$  bildet. Während der Schichtbildung oder danach wird eine Verunreinigung bzw. werden Störstellen in die polykristalline Siliziumdünnschicht 105 eingeführt, um sie in eine leitende Dünnschicht umzuwandeln. Des weiteren wird die polykristalline Siliziumdünnschicht 105 durch Fotolithografie- und Ätzschritte strukturiert, und dadurch wird die mit Störstellen dotierte polykristalline Siliziumdünnschicht 105 in einem vorbestimmten Gebiet auf den Öffnungen 104 und der Siliziumnitridschicht 103 gebildet. Danach wird eine Nitridschicht 106 auf der polykristallinen Siliziumdünnschicht 105 gebildet.

Da in dem Fotolithografieschritt für die polykristalline Siliziumdünnschicht 105 die polykristalline Siliziumdünnschicht 105 sehr dünn ist ( $0,5\ \mu\text{m}$  bis  $2\ \mu\text{m}$ ), kann die Form der in der Siliziumnitridschicht 103 gebildeten Öffnungen 104 durch die polykristalline Siliziumdünnschicht 105 gesehen werden, und es kann die Ausrichtung der Fotomaske genau durchgeführt werden.

Als nächstes wird wie in Fig. 7 dargestellt eine Siliziumoxidschicht (zweite Isolierungsdünnschicht) 107 auf der Nitridschicht 106 gebildet. Darauf folgend wird wie in Fig. 8 dargestellt eine polykristalline Siliziumdünnschicht 108, welche als Dünnschicht für eine Aufschichtung dient, auf der Siliziumoxidschicht 107 gebildet, und die Oberfläche davon wird durch mechanisches Polieren oder dergleichen geglättet.

Als nächstes wird wie in Fig. 9 dargestellt ein einkristallines Siliziumsubstrat (zweites Halbleitersubstrat) 109, welches sich von dem Siliziumsubstrat 100 unterscheidet, bereitgestellt und auf die polykristalline Siliziumdünnschicht 108 geschichtet. Danach wird wie in Fig. 10 dargestellt die

Struktur um 180° gewendet, so daß das Substrat 100 die Oberseite wird, und es wird das Siliziumsubstrat 100 durch mechanisches Polieren oder dergleichen verdünnt. Wenn zu diesem Zeitpunkt das Polieren auf eine Tiefe des in dem Siliziumsubstrat 100 gebildeten Grabens 100a ausgeführt worden ist, d. h. bis der Rand des Grabens 100a bloßgelegt ist, erscheint die Siliziumoxidschicht 101 auf der Oberfläche des Siliziumsubstrats 100. Da sich die Härte der polierten Oberfläche des Substrats 100 ändert, kann als Ergebnis ein Endpunkt des Polierens leicht erfaßt werden. Des weiteren werden mit der Siliziumoxidschicht 101, welche in dem als Ausrichtungsmarkierung verwendeten Graben 100a gebildet ist, eine Schichtbildung und ein Grabenätzen in den folgenden Schritten durchgeführt.

Nach dem Polieren werden ein Dehnungsmeßgerät 110 zur Überwachung der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur und eine Verdrahtungsschicht 111 in dem Siliziumsubstrat 100 gebildet. In diesem Fall wird das Dehnungsmeßgerät 110 als Diffusionsschicht durch Implantieren von Borionen mit kleinen Dosen (von etwa  $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ) in das einkristalline N-Typ Siliziumsubstrat 100 gebildet. Die Verdrahtungsschicht 111 wird ebenfalls als Diffusionsschicht durch Implantieren von Borionen mit großen Dosen (von etwa  $1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ ) in das Siliziumsubstrat 100 gebildet.

Danach werden wie in Fig. 11 dargestellt eine Isolierungsschicht 112 und eine Siliziumnitridschicht 113 auf dem Siliziumsubstrat 100 gebildet. Ein Kontaktloch wird in der Isolierungsschicht 112 und der Siliziumnitridschicht 113 beispielsweise durch Fotolithografie- und Trockenätzschritte gebildet. Eine Aluminiumelektrode 114 wird durch einen Schichtbildungsschritt, einen Fotolithografie-schritt und einen Ätzschritt gebildet. Obwohl in der Figur nicht dargestellt werden Phosphorionen in das Siliziumsubstrat 100 an einem Ort implantiert, an welchem ein konstantes Potential an das Substrat 100 angelegt wird, und es wird eine Elektrode an dem Ort gebildet.

Danach wird wie in Fig. 12 dargestellt eine Auslegerstruktur durch Fotolithografie- und Ätzschritte unter Verwendung einer Maske 115 entsprechend einer Form der Auslegerstruktur gebildet. D.h. es werden Gräben 116, welche sowohl die Auslegerstruktur als auch die festgelegten Elektroden definieren, in dem Siliziumsubstrat 100 durch Grabenätzen gebildet. Zu diesem Zeitpunkt kann das Ätzen mit einer weichen Maske wie einem Fotoresist oder einer harten Maske wie einer Oxidschicht durchgeführt werden.

Schließlich wird wie in Fig. 13 dargestellt die Siliziumoxidschicht 111 durch Ätzen mit beispielsweise einer HF-Ätzflüssigkeit bzw. einem Ätzmittel entfernt, wodurch das Siliziumsubstrat 100 in eine bewegliche Auslegerstruktur gebracht wird. Zu diesem Zeitpunkt wird ein Sublimationsmittel wie Paradichlorbenzol verwendet, um zu verhindern, daß die bewegliche Auslegerstruktur auf dem Substrat in einem Trocknungsschritt nach dem Ätzen anhaftet.

Durch die oben beschriebenen Schritte kann der in Fig. 1, 2 dargestellte Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor hergestellt werden. Es wird festgestellt, daß ein Teil von der Siliziumnitridschicht 103 bis zu dem Siliziumsubstrat 109 wie in Fig. 13 dargestellt das in Fig. 1 dargestellte Substrat bildet.

#### Modifizierungen

Obwohl bei dem Giergeschwindigkeitssensor der ersten Ausführungsform ein Signal/Rausch-Verhältnis (S/N-Verhältnis) durch Ausführen der Differenzfassung der Ausgangssignale von den Auslegerstrukturen 2, 3 verbessert ist, kann eine Giergeschwindigkeit mit lediglich einer Auslegerstruktur erfaßt werden.

Obwohl das Gewichtsteil von vier Auslegerteilen, welche sich von den jeweiligen Ankerteilen bei der ersten Ausführungsform erstrecken, getragen wird, kann darüber hinaus lediglich ein Auslegerteil gebildet werden, um das Gewichtsteil zu tragen. Es versteht sich, daß zwei, drei oder mehr als vier Auslegerteile statt dessen entsprechend besonderen Entwurfsparametern gebildet werden können, um das Gewichtsteil zu tragen.

Bei der ersten Ausführungsform wurde beispielsweise die Verdrahtungsschicht 16 in einer U-Form in dem Auslegerteil 5 gebildet, und es wurden beide Enden der Verdrahtungsschicht 16 mit einem Paar von in dem Ankerteil 4c gebildeten Elektroden 17, 18 verbunden. Jedoch kann wie in Fig. 14 dargestellt die Verdrahtungsschicht 16 (20) derart gebildet werden, daß ein Ende der Verdrahtungsschicht 16 (20) mit einer in einem der Ankerteile 4c (4b) gebildeten ersten Elektrode 17 (21) verbunden ist und das andere Ende der Verdrahtungsschicht mit einer in dem anderen Ankerteil der Ankerteile 4d (4a) gebildeten zweiten Elektrode 18 (22) verbunden ist. D.h. die Verdrahtungsschicht 16 (20) erstreckt sich von einem Ankerteil der Ankerteile 4c (4b) entlang dem Gewichtsteil 7 bis zu dem anderen Ankerteil der Ankerteile 6 (5). Sogar wenn die Breite des Auslegerteils 5, 6 klein ist, können in diesem Fall die Verdrahtungsschichten 16, 20 und die Dehnungsmeßgeräte 15, 19 leicht gebildet werden.

Vier Dehnungsmeßgeräte können in den vier Auslegerteilen 5, 6 gebildet werden, welche sich von den Ankerteilen 4a bis 4d jeweils erstrecken, und die Dehnungsmeßgeräte können zur Bildung einer Vollbrückenschaltung miteinander verbunden sein, um die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur 2 zu überwachen.

Des weiteren kann die vorliegende Erfindung auf einen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor angewandt werden, welcher ähnlich wie eine Stimmgabel schwingt. Bei einem derartigen Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor wie in Fig. 15 dargestellt werden die Gewichtsteile 7 der Auslegerstrukturen 2, 3 von vier 4 Ankerteilen 23a, 23b, 23c, 23d durch die Auslegerteile 24a, 24b, 24c, 24d getragen. In diesem Fall ist wie in Fig. 16 dargestellt ein Dehnungsmeßgerät 25 auf dem Auslegerteil 24b gebildet und elektrisch mit einem Paar von auf dem Ankerteil 23c gebildeten Elektroden 27, 28 über eine Verdrahtungsschicht 26 verbunden. Ebenfalls ist ein Dehnungsmeßgerät 29 auf dem Auslegerteil 24c gebildet und elektrisch mit einem Paar von auf dem Ankerteil 23d gebildeten Elektroden 31, 32 über eine Verdrahtungsschicht 30 verbunden. Alternativ kann wie in Fig. 17 dargestellt das Dehnungsmeßgerät 25 mit dem Paar von Elektroden 27, 28 mit einer Verdrahtungsschicht 26 verbunden sein, welche sich durch die Auslegerteile 24a, das Gewichtsteil 7 und das Auslegerteil 24b bewegt. Auf dieselbe Weise kann das Dehnungsmeßgerät 29 mit dem Paar von Elektroden 31 und 32 mit einer Verdrahtungsschicht 30 elektrisch verbunden sein, welche sich durch die Auslegerteile 24c, das Gewichtsteil 7 und das Auslegerteil 24d bewegt.

Bei dem in Fig. 16 und 17 dargestellten Giergeschwindigkeitssensor ist das Dehnungsmeßgerät 25 (29) an einer Position gebildet, welche von einer neutralen Achse des Auslegerteils 24b (24c) wie in Fig. 18 dargestellt versetzt ist. Als Ergebnis kann ein Ausgangssignal entsprechend der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur 2 (3) von dem Dehnungsmeßgerät 25 (29) erzeugt werden. Daher können die erzwungenen Schwingungen der Auslegerstrukturen 2, 3 auf dieselbe Weise wie bei der ersten Ausführungsform überwacht werden.

Des weiteren ist bei dem in Fig. 16 und 17 dargestellten Giergeschwindigkeitssensor sogar dann, wenn eine Schutz-

schicht (Passivierungsschicht) auf Diffusionsschichten (Dehnungsmeßgeräten 25, 29 und Verdrahtungsschichten 26, 30) gebildet ist, möglich, eine Deformation der Auslegerstruktur des Stimmgabeltyps infolge einer Spannung der Schutzschicht zu minimieren, da die Dehnungsmeßgeräte 25, 29 jeweils auf den Auslegerteilen 24b, 24c vorgesehen sind, welche zwischen den Ankerteilen 23c, 23d inmitten der vier Auslegerteile 24a, 24b, 24c, 24d lokalisiert sind.

Bei den oben beschriebenen Ausführungsformen wurden die Verdrahtungsschichten 16, 20, 26, 30 durch Diffusionsschichten gebildet. Jedoch kann eine Verdrahtung für die Dehnungsmeßgeräte 15, 19, 25, 29 unter Verwendung eines Metalldrahts wie eines Aluminiumdrahts gebildet werden. Beispielsweise kann bei der in Fig. 2 dargestellten Struktur ein Aluminiumdraht 16' wie in Fig. 19 dargestellt gebildet werden. In diesem Fall ist das Dehnungsmeßgerät 15 mit dem Aluminiumdraht 16' über Kontaktlöcher 16a, 16b, die beispielsweise in einer darauf angeordneten Isolierungsschicht gebildet sind, elektrisch verbunden.

Die vorliegende Erfindung ist nicht auf einen Giergeschwindigkeitssensor eines elektrostatischen Kapazitätstyps beschränkt, bei welchem eine Giergeschwindigkeit auf der Grundlage einer Kapazitätsänderung von Kondensatoren erfaßt wird, die zwischen den Auslegerstrukturen 2, 3 und den unteren Elektroden 13, 14 gebildet sind. Demgegenüber kann die Erfindung ebenfalls auf einen Giergeschwindigkeitssensor eines Erfassungstyp mit einem Transistor wie in der JP-A-H8-148698 offenbart angewandt werden.

Vorstehend wurde ein Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor offenbart. Der Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor besitzt ein Substrat (1), eine Auslegerstruktur (2, 3), welche aus einem Halbleitermaterial gebildet ist und wenigstens ein auf dem Substrat angeordnetes Ankerteil (4a bis 4d), ein über dem Substrat in einem vorbestimmten Abstand davon lokalisiertes Gewichtsteil (7) und ein Auslegerteil (5, 6) aufweist, welches sich von dem Ankerteil aus erstreckt und das Gewichtsteil trägt. Eine bewegliche Elektrode (8, 9) ist auf dem Gewichtsteil gebildet, und eine festgelegte Elektrode (10 bis 12) ist auf dem Substrat derart gebildet, daß die festgelegte Elektrode der beweglichen Elektrode gegenüberliegt. Wenn eine Ansteuerungsspannung an die bewegliche Elektrode und die festgelegte Elektrode angelegt wird, wird die Trägerstruktur zu einem erzwungenen Schwingen in eine Richtung horizontal bezüglich einer Substratoberflächenebene veranlaßt. Bei diesem Giergeschwindigkeitssensor ist ein Dehnungsmeßgerät (15, 19) zur Überwachung der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur in dem Auslegerteil gebildet. Als Ergebnis kann die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur mit einer einfachen Struktur überwacht werden.

#### Patentansprüche

1. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor mit:  
einem Substrat (1);  
einer Auslegerstruktur (2, 3), welche aus einem Halbleitermaterial gebildet ist und wenigstens ein auf dem Substrat angeordnetes Ankerteil (4a bis 4d), ein über dem Substrat in einem vorbestimmten Abstand davon lokalisiertes Gewichtsteil (7) und wenigstens ein Auslegerteil (5, 6) aufweist, welches sich von dem Ankerteil aus erstreckt und das Gewichtsteil trägt;  
einer beweglichen Elektrode (8, 9), welche auf dem Gewichtsteil gebildet ist;  
einer festgelegten Elektrode (10, 12), welche auf dem Substrat derart gebildet ist, daß die festgelegte Elektrode der beweglichen Elektrode gegenüberliegt, wobei dann, wenn an die bewegliche Elektrode und die fest-

gelegte Elektrode eine Ansteuerungsspannung angelegt wird, die Auslegerstruktur zu einem erzwungenen Schwingen in eine Richtung horizontal bezüglich einer Substratoberflächenebene veranlaßt wird;

einem Giergeschwindigkeitssensor (7, 13), welcher eine Giergeschwindigkeit auf der Grundlage einer Verschiebung der Auslegerstruktur in eine Richtung vertikal bezüglich der Substratoberflächenebene während der erzwungenen Schwingung der Auslegerstruktur erfaßt; und

wenigstens einem Dehnungsmeßgerät (15, 19), welches in dem Auslegerteil gebildet ist und die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur überwacht.

2. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch eine Schaltung (40 bis 48), welche eine Ansteuerungsspannung für die erzwungene Schwingung der Auslegerstruktur an die bewegliche Elektrode und die festgelegte Elektrode anlegt, wobei die Ansteuerungsspannung auf der Grundlage eines Ausgangssignals des Dehnungsmeßgeräts erzeugt wird.

3. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Draht (16, 20, 26, 30), der mit dem Dehnungsmeßgerät verbunden ist, wobei der Draht aus einer in dem Auslegerteil gebildeten Diffusionsschicht hergestellt ist.

4. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch einen Draht (16'), der mit dem Dehnungsmeßgerät verbunden ist, wobei der Draht aus einem auf dem Auslegerteil gebildeten Metalldraht hergestellt ist.

5. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 3 oder 4, gekennzeichnet durch eine in dem Ankerteil gebildete Elektrode (17, 18, 21, 22, 27, 28, 31, 32) zum Aussenden eines Ausgangssignals des Dehnungsmeßgeräts, wobei der Draht zwischen dem Dehnungsmeßgerät und der Elektrode gebildet ist.

6. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Draht (16, 20) in einer U-förmigen Gestalt in dem Auslegerteil gebildet ist und sowohl das erste als auch das zweite Ende des Drahts mit einem Paar von in dem Ankerteil gebildeten Elektroden (4a bis 4d) verbunden sind.

7. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens zwei Ankerteile (4a bis 4d) auf dem Substrat angeordnet sind und der Draht (16, 20) derart gebildet ist, daß ein Ende des Drahts mit einer in einem der Ankerteile gebildeten ersten Elektrode verbunden ist und das andere Ende des Drahts mit einer in dem anderen der Ankerteile gebildeten zweiten Elektrode verbunden ist.

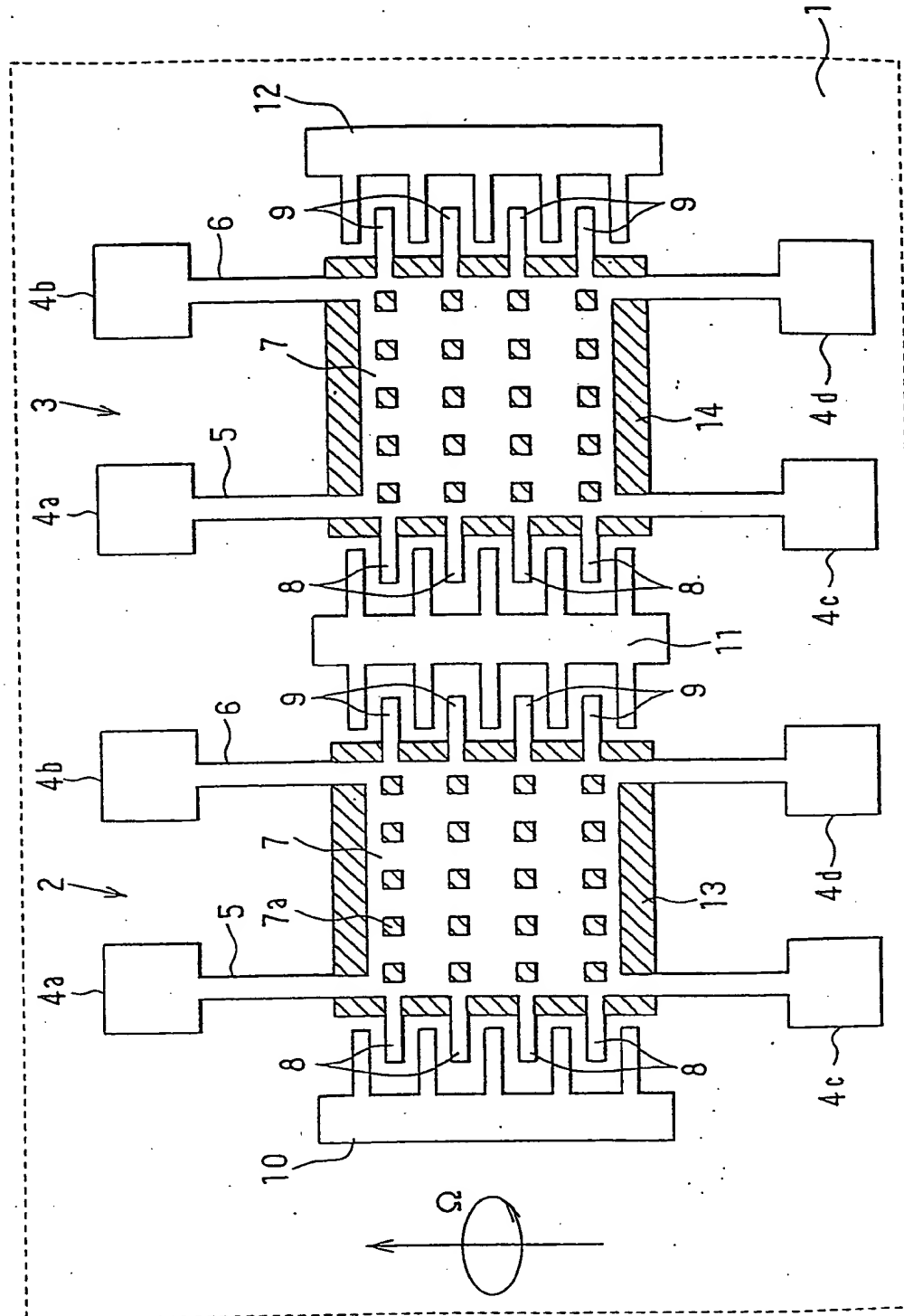
8. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwei Dehnungsmeßgeräte (15, 19) an unterschiedlichen Positionen derart lokalisiert sind, daß dann, wenn die Auslegerstruktur zum Schwingen in Horizontalrichtung veranlaßt wird und eine Zugspannung auf eines der Dehnungsmeßgeräte aufgebracht wird, eine Druckspannung auf das andere der Dehnungsmeßgeräte aufgebracht wird.

9. Halbleiter-Giergeschwindigkeitssensor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Dehnungsmeßgerät (15, 19, 25, 29) von einer neutralen Achse des Auslegerteils während der erzwungenen Schwingung versetzt lokalisiert ist.

Hierzu 11 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG. 1





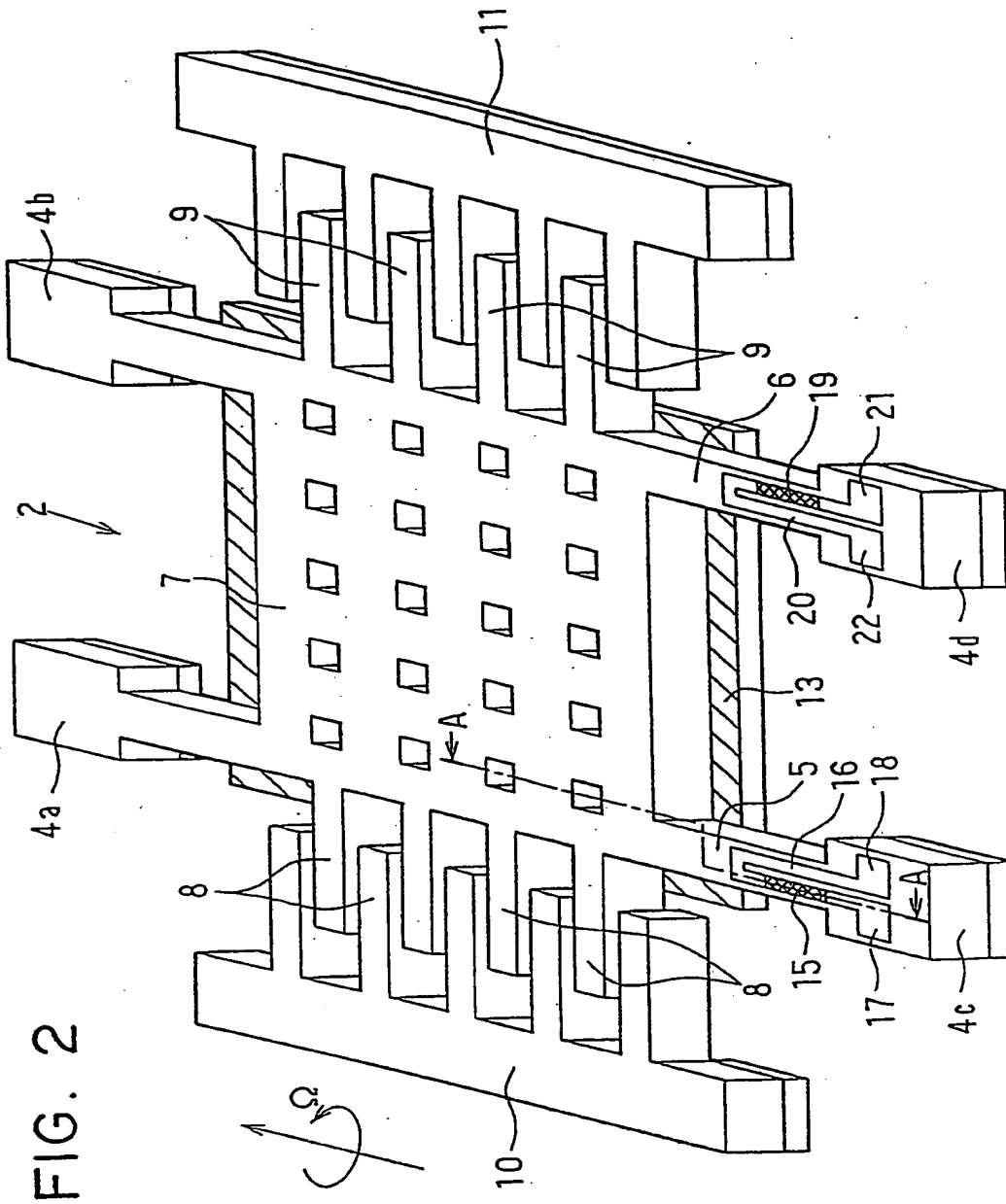


FIG. 3

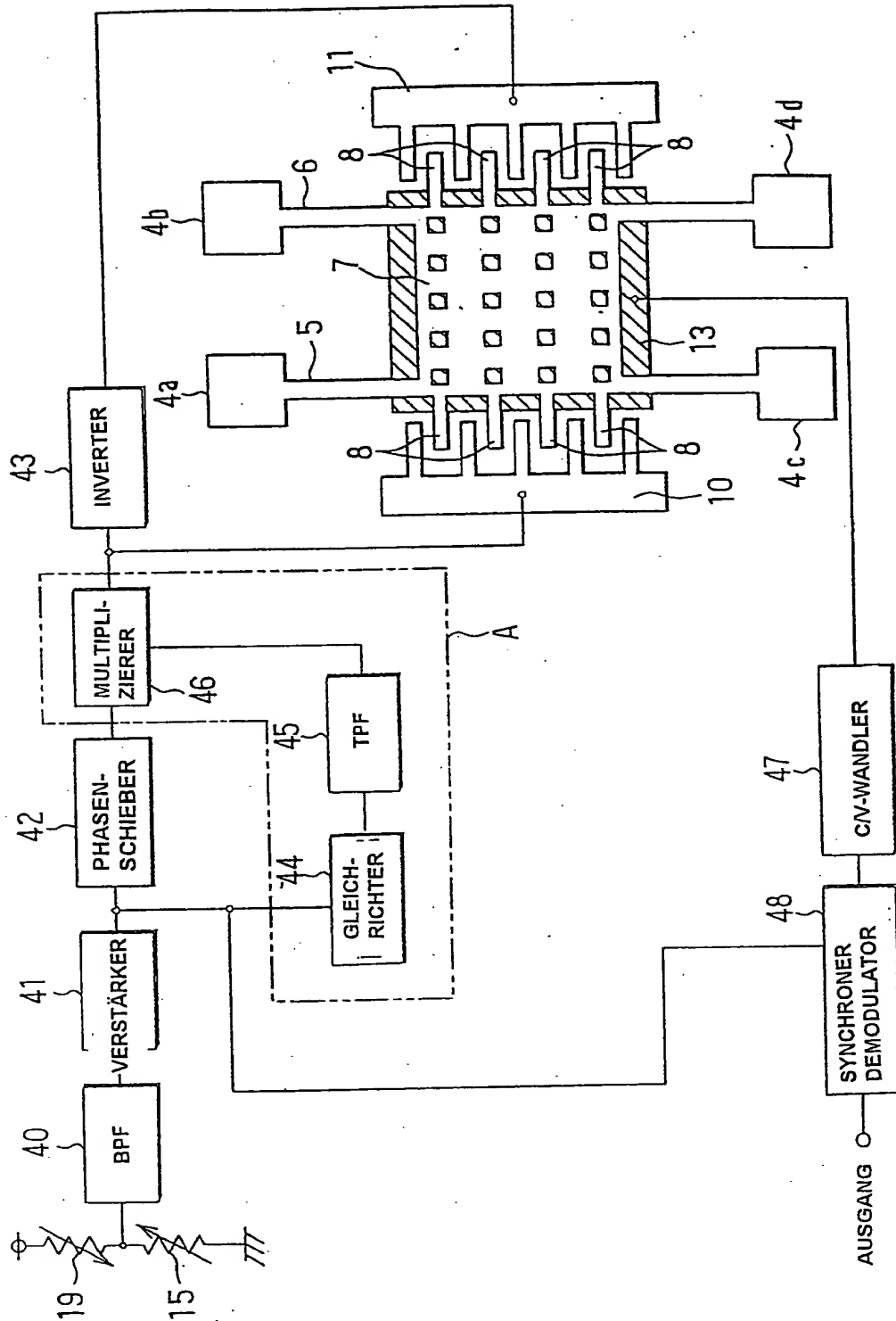


FIG. 4

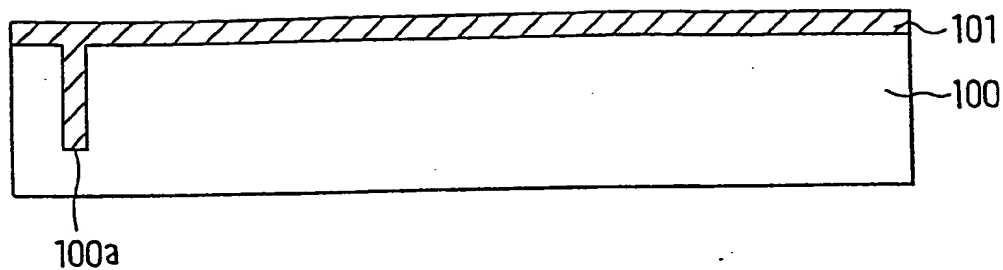


FIG. 5

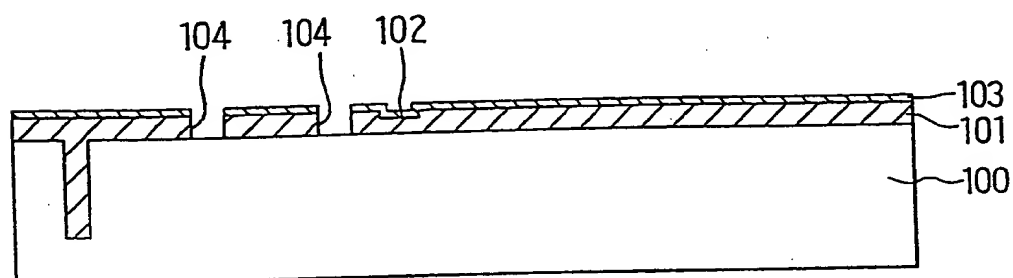


FIG. 6

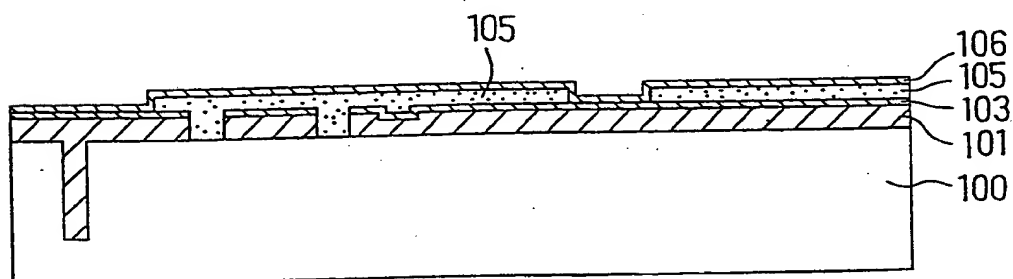


FIG. 7

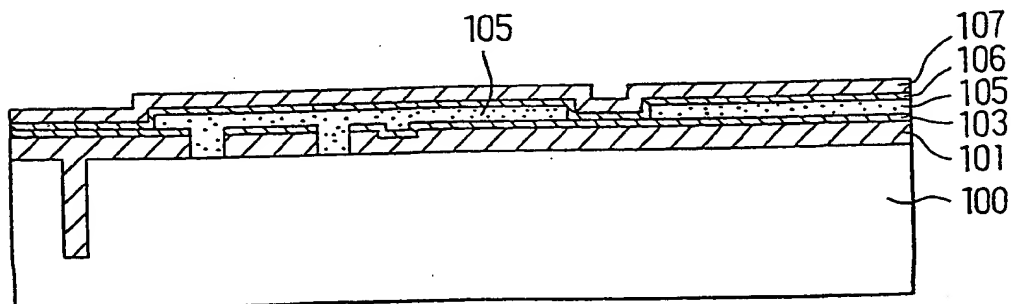


FIG. 8

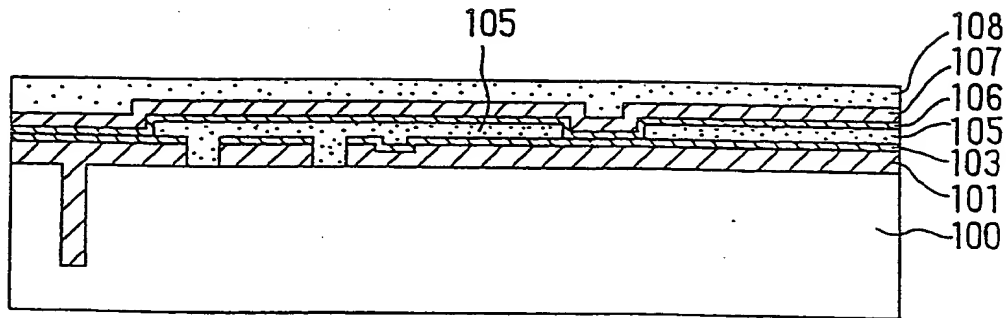


FIG. 9

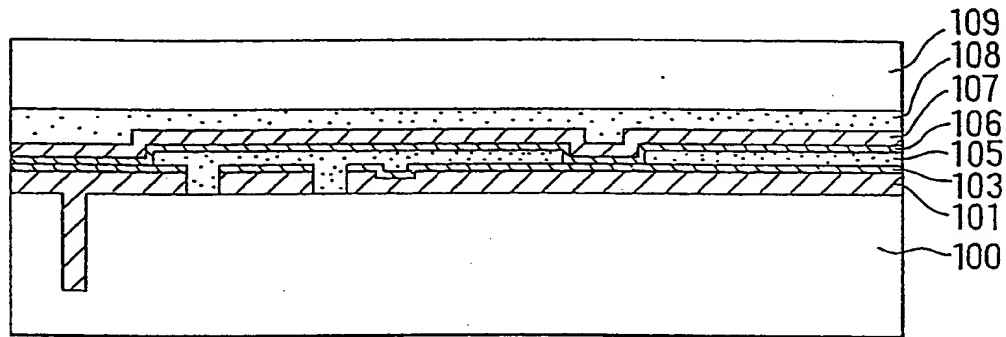


FIG. 10

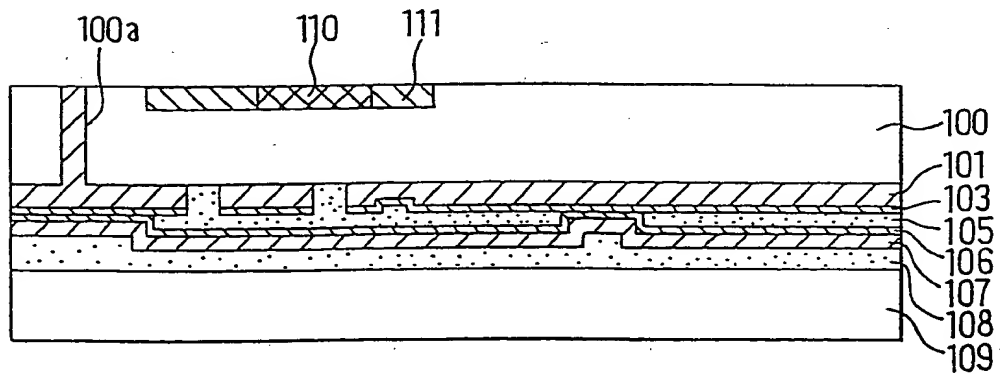


FIG. 11

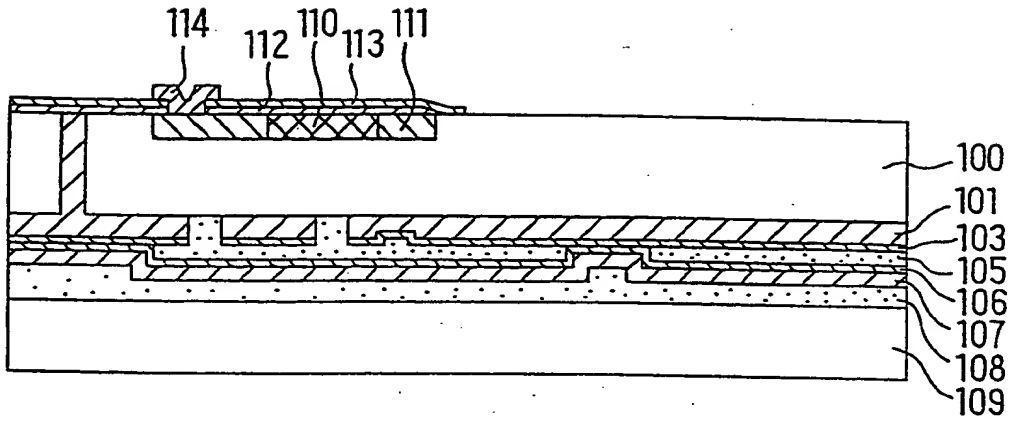


FIG. 12

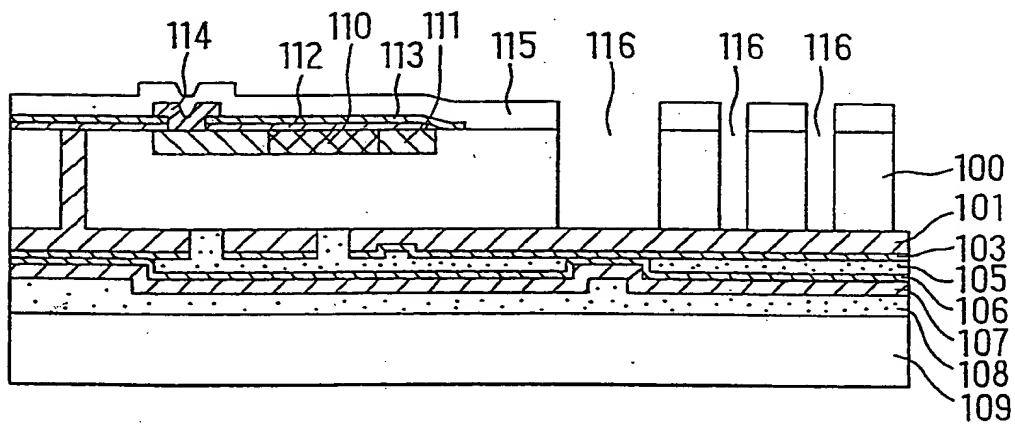
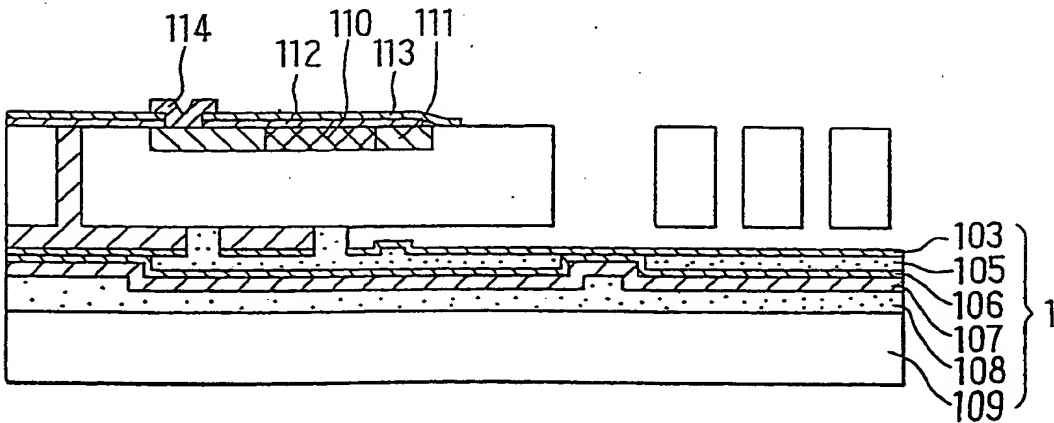


FIG. 13



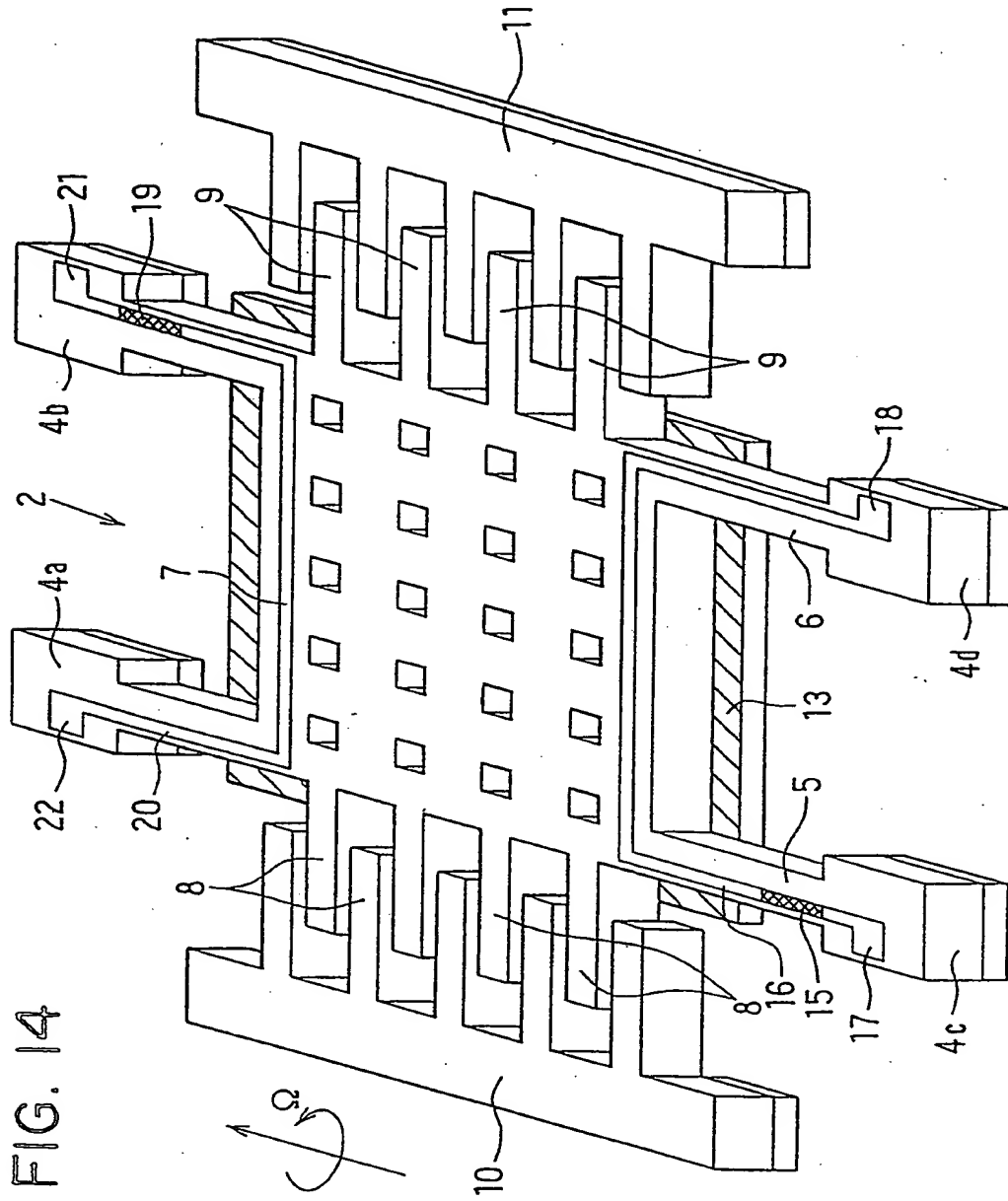


FIG. 15

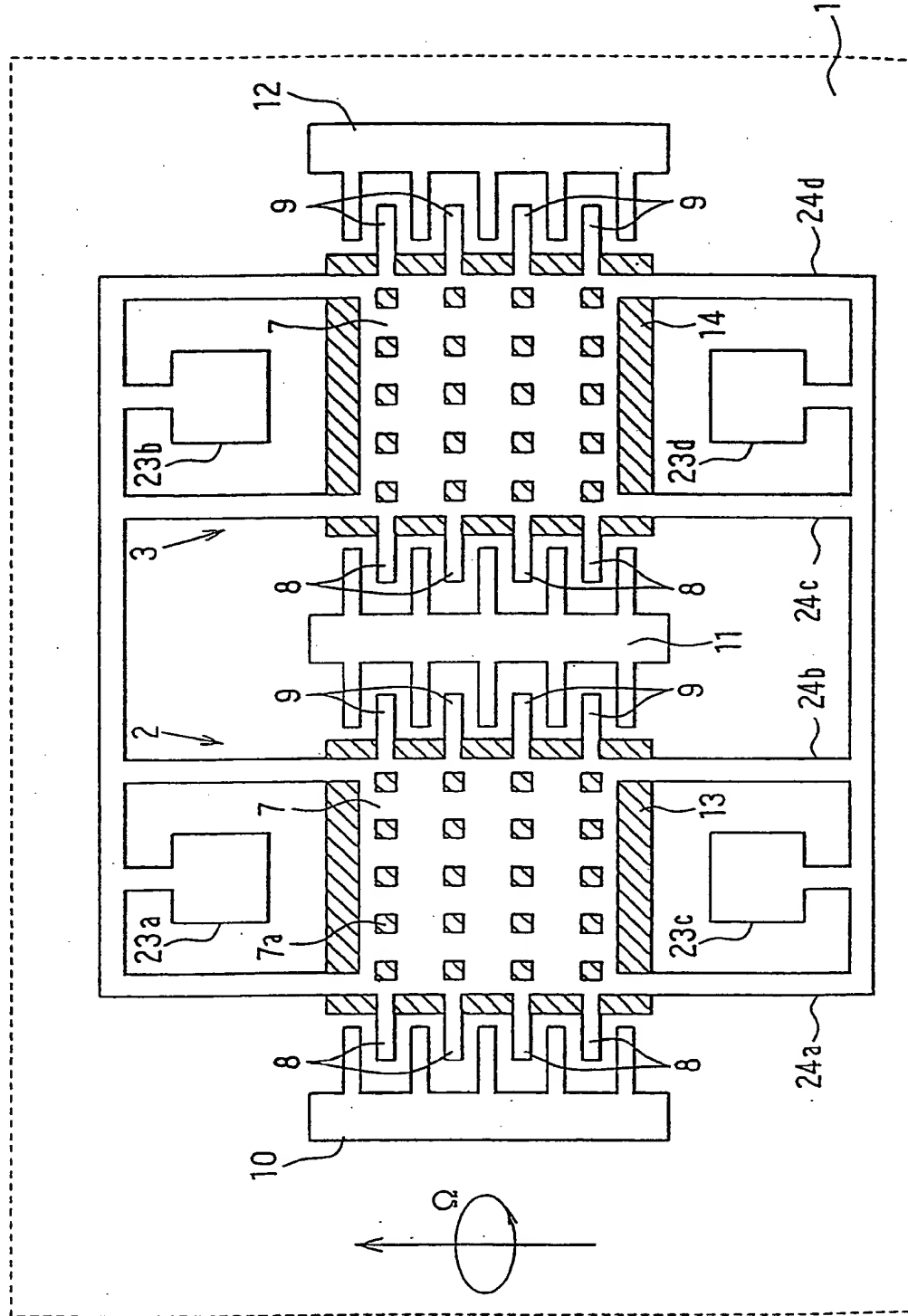


FIG. 16

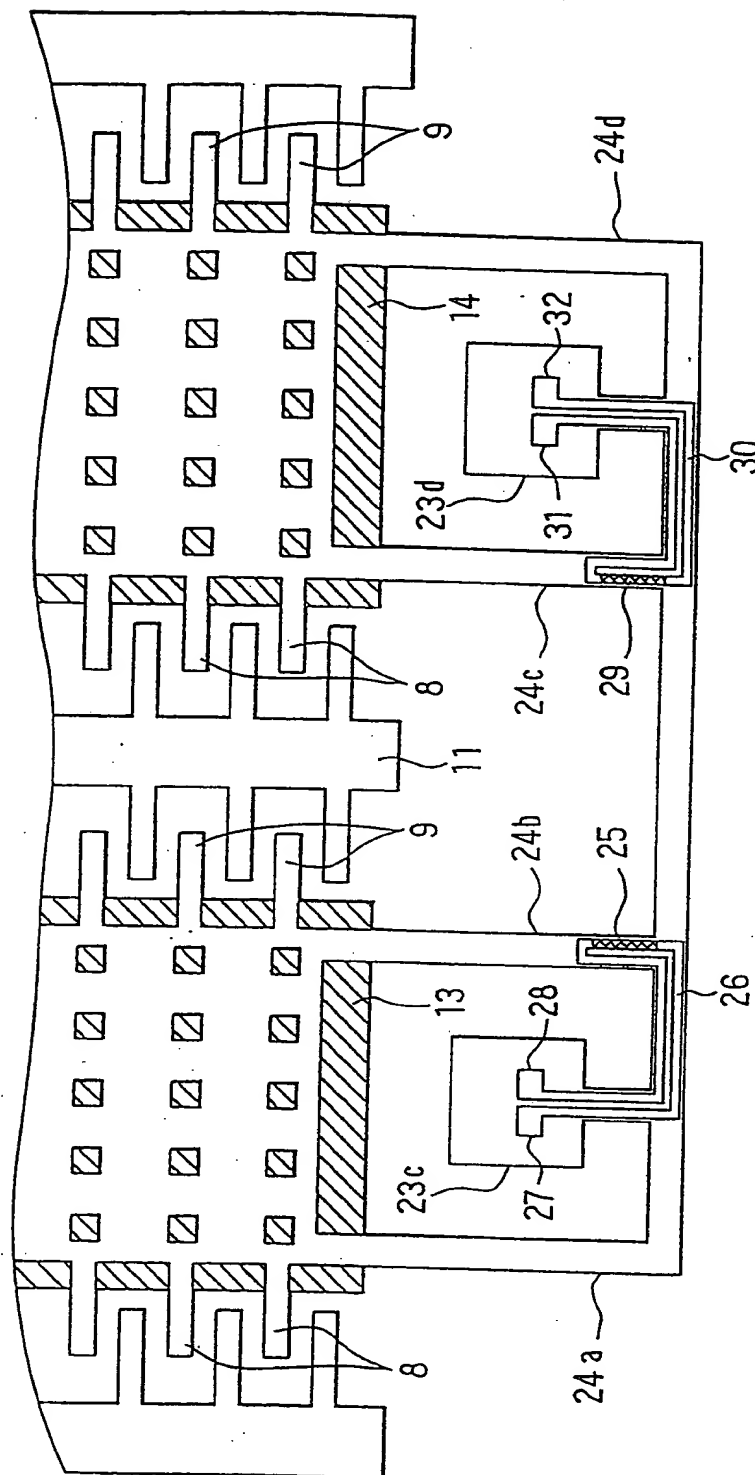




FIG. 17

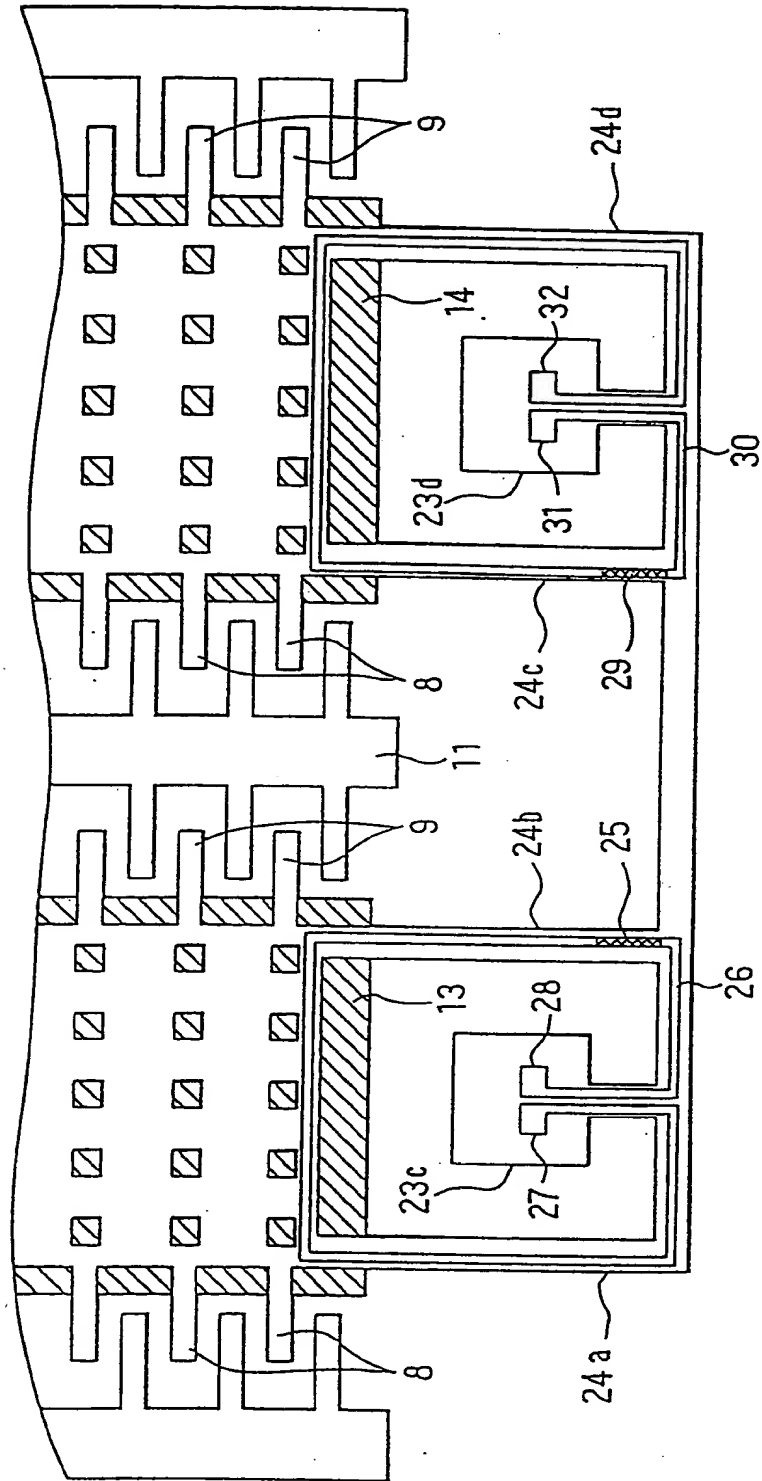


FIG. 18

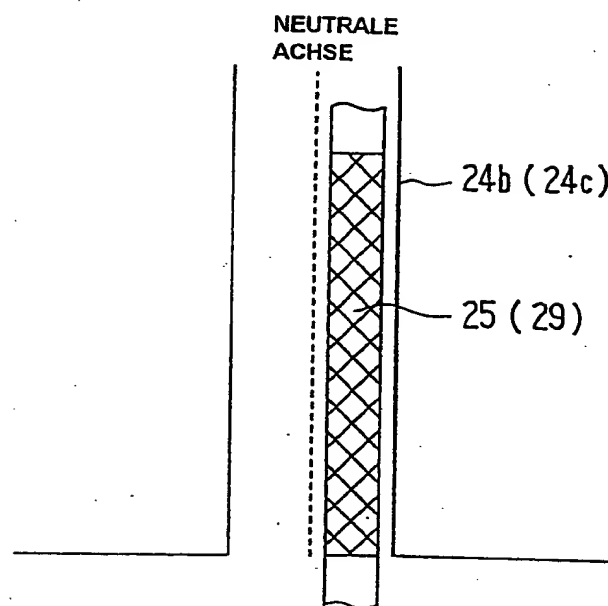


FIG. 19

